

LÂMINA ARMazenada MÁXIMA NA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL ATRAVÉS DA EQUAÇÃO DA LEI DA CONSERVAÇÃO DAS MASSAS. ESTUDO DE CASOS: MILHO E ALGODÃO

Luís Carlos Uchôa Saunders¹

RESUMO

O trabalho foi baseado no modelo de ROSE & STERN e trata do estudo detalhado da dinâmica da água nas culturas do milho e do algodão cultivados em aluvião eutrófico, durante seu ciclo de desenvolvimento. Na determinação da evapotranspiração real (ETR) a partir da aplicação da lei da conservação das massas, em volume de controle do solo, face às dificuldades de se quantificar com bastante precisão a água aplicada durante as irrigações ou precipitações, optou-se pelo cálculo da lâmina armazenada máxima, que foi definida como: a variação do armazenamento da água do solo na profundidade Z obtida pela diferença entre o armazenamento máximo ocorrido após irrigação ou precipitação e o armazenamento antes da irrigação ou precipitação subsequente. Empregou-se como sensor de umidade duas baterias de tensiômetros instaladas na parte central de cada parcela às profundidades de 15, 45, 75, 105 e 135 cm. O reinício das irrigações acontecia quando o potencial da água do solo atingia - 0,50 atm na profundidade de 15 cm para ambas as culturas.

PALAVRAS-CHAVE: Armazenamento, potencial d'água do solo, evapotranspiração, balanço hídrico.

MAXIMUM DEPTH OF WATER STORED IN THE SOIL USED TO DETERMINE EVAPOTRANSPIRATION BASED ON THE LAW OF MASS CONSERVATION. CASE STUDIES: CORN AND COTTON

SUMMARY

Actual evapotranspiration was determined based on the law of mass conservation for a given volume of soil, using the maximum depth of water stored in the soil, instead of irrigation water applied natural precipitation, due to the difficulties in quantifying both parameters. The maximum depth of water stored in a

depth "Z" of soil is given by the difference between the maximum storage after irrigation or natural precipitation and storage before irrigation or natural precipitation. Soil moisture was monitored by two batteries of tensiometers installed in the middle of the two test plots, at the depths of 15. 45. 75. 105 and 135 cm. For both crops, the plots were irrigated when the soil potential at 15 cm depth reached -0,50 atm.

KEY WORDS: water storage, soil water potential, evapotranspiration, water balance.

INTRODUÇÃO

A aplicação da Equação da Lei da Conservação das Massas em estudo de balanço hídrico para a obtenção da evapotranspiração real das culturas foi concebida a partir do trabalho básico ROSE & STERN¹⁰, que apresenta pormenores sobre a dinâmica de extração de água pelas raízes de uma cultura, e posteriormente seguido por pesquisadores brasileiros, destacando-se os trabalhos de REICHARDT et alii⁹, CASTRO³, SAUNDERS et alii¹⁴, MARCA⁷, SANTOS¹², SÁ¹¹, FERREIRA⁶ entre outros.

A expressão mais comumente empregada em estudos de balanço hídrico apresenta como componente de entrada num volume de controle de solo a precipitação e a irrigação. Estes dois componentes, embora facilmente quantificáveis, apresentam dificuldades na análise da equação do balanço, levando a situações fisicamente esdrúxulas, haja vista que a aplicação ao so-

¹ Professor Titular da Universidade Federal do Ceará e Pesquisador do CNPq.

lo da água quantificada através de estruturas hidráulicas e/ou pluviômetros necessariamente não sofrerá um progresso de infiltração uniforme. Ocorrerá evaporação da água antes de se infiltrar no solo; nas depressões o tempo de oportunidade será maior e conseqüentemente maior infiltração e a própria variabilidade espacial das propriedades físico-hídricas do solo implicarão numa desuniformidade do armazenamento d'água para uma profundidade pré-estabelecida. Como os sensores são pontuais, logo há a possibilidade de se obter um armazenamento d'água do solo bem diverso daquele esperado, em função do volume aplicado por irrigação ou precipitação.

Trabalhos desenvolvidos no Vale do Curu (Pentecoste - Ceará) pertencente à microrregião de Uruburetama, foram idealizados por MARCA⁷ com o consórcio feijão-caupi-milho-algodão, SANTOS¹² com a cultura do melo, FERREIRA⁶ com a cultura da melancia e SÁ¹¹ com a cultura da abóbora, os quais encontraram dificuldades na aplicação da equação do balanço hídrico.

Experimento conduzido em Thorsby, Alabama-EUA, durante quatro anos por DOSS et alii⁵ com a cultura do milho, sob regime de irrigação, revelou como taxas de evapotranspiração mínima e máxima os valores 1,8 mm/dia e 5,8 mm/dia, respectivamente.

VAN BAVEL & HARRIS¹⁵, durante dois anos consecutivos em Raleigh, Carolina do Norte - EUA, mediram a evapotranspiração do milho, por meio de lisímetro de percolação, obtendo taxa de evapotranspiração estacional média de 5,65 mm/dia em 1957 e 4,45 mm/dia em 1958.

CASTRO³, em Piracicaba-SP, desenvolveu um trabalho com a cultura do milho, visando determinar a evapotranspiração real através da metodologia do balanço hídrico. Concluiu que o fluxo de evapotranspiração real média do milho é de 4,72 mm/dia.

REICHARDT et alii⁹ desenvolveram estudo da dinâmica da água no solo e encontraram uma evapotranspiração média de 3,4 mm/dia¹, bem abaixo da evapotranspiração potencial que foi de 7 mm/dia¹ na mesma época.

SAUNDERS et alii¹⁴ com a finalidade

de determinar o uso consuntivo da cultura do milho (*Zea mays* L.) sob condições naturais de precipitação, em Quixadá-CE, mediante a utilização do balanço hídrico, encontraram um valor médio de evapotranspiração real da ordem de 5,8 mm/dia.

Trabalhos realizados por BRYAN & BROWN¹, em Arkansas-EUA, determinaram, em condições de campo, a evapotranspiração real do algodão em solos siltosos. A taxa máxima da evapotranspiração real do algodão, foi de 5,84 mm/dia, durante o período de máxima frutificação da planta.

MARIANATO & KAKIDA⁸ determinaram o uso consuntivo do algodão, na Estação Experimental de Gortuba, norte de Minas, em solo aluvião Franco Eutrófico, usando o evapotranspirômetro de THORNTHWAITE. Os resultados obtidos, em dois anos consecutivos, corresponderam à média diária durante o ciclo de 5,86 mm para o 1o. ano, e 3,60 mm para o 2º ano.

Face ao exposto, neste trabalho pretende-se definir um procedimento de cálculo na equação mais comumente empregada em estudos de balanço hídrico, no qual se introduzirá o termo lâmina armazenada máxima em substituição aos parâmetros irrigação e precipitação, com o intuito de tornar todos os componentes do balanço pontual. Utilizaram-se para o desenvolvimento desta pesquisa as culturas do milho e do algodão cultivadas em parcelas experimentais "in situ".

MATERIAL E MÉTODOS

O balanço hídrico de uma cultura tem seu fundamento na lei da conservação das massas descritas por ROSE & STERN¹⁰ pela equação:

$$\int_{t_2}^{t_1} (P + 1 \pm e \pm qz \pm r) dt = \int_0^z \left(\frac{e\theta}{\delta t} = dt dz \right) \quad (1)$$

O primeiro membro desta equação representa o somatório de todas as entradas e saídas de água em um elemento de volume de solo de base unitária (1cm²) e

altura z (cm), num intervalo de tempo $\Delta t(t_1 - t_0)$. O segundo membro representa a variação do armazenamento de água no mesmo elemento de volume e mesmo intervalo de tempo Δt .

Os termos do primeiro membro representam densidade de fluxo $\{LT^{-1}\}$ de precipitação (p), irrigação (i), evapotranspiração (e), percolação ou ascensão capilar (qz) e escoamento superficial (r). O termo θ do segundo membro corresponde ao conteúdo de água em volume.

Integrando a equação (1) com relação ao tempo e a profundidade obtém-se a equação mais usual em estudos de balanço hídrico:

$$P + \pm ETR \pm Qz \pm R = \pm \Delta A \quad (2)$$

onde P representa a quantidade de água precipitada na superfície do solo, $z = 0$, por unidade de área $\{L\}$. I , a quantidade de água aplicada na forma de irrigação na superfície do solo, $z = 0$, por unidade de área $\{L\}$. ETR indica a quantidade de água perdida pela superfície do solo, $z = 0$, por unidade de área na forma de evapotranspiração $\{L\}$. Qz representa a quantidade de água que passa através do limite inferior do volume de solo, $z = L$, por unidade de área, denominada percolação quando o fluxo é negativo e ascensão capilar quando positivo $\{L\}$. R indica a quantidade de água proveniente do escoamento superficial, por unidade de área, que entra ou abandona a superfície do solo da parcela experimental $\{L\}$. Nas condições que se desenvolveu o presente trabalho este componente foi negligenciado vez que as parcelas foram sistematizadas à nível e encimadas. ΔA representa a variação do armazenamento da água do solo na profundidade de $0-z$ para o intervalo de tempo considerado no balanço $\{L\}$. Este componente poderá ser positivo ou negativo, dependendo da magnitude dos demais parâmetros.

Modificações na Quantificação dos Componentes Precipitação e Irrigação.

Independente da contribuição dos componentes precipitação e irrigação, devem-

se ressaltar algumas limitações na quantificação destes: A chuva ocorrida que é quantificada em pluviógrafos, para análise de balanço hídrico, é considerada como uniformemente distribuída e infiltrada no solo. No entanto, se a capacidade de infiltração for inferior à intensidade de chuva, deverá ocorrer um determinado tempo para que haja infiltração total da chuva e neste período acontecer a evaporação da água da chuva, que não é quantificada no balanço. No caso da irrigação, a lâmina d'água de reposição para as duas parcelas experimentais eram quantificadas com precisão através de um hidrômetro aferido pelo método volumétrico. No entanto, na distribuição de água nas parcelas empregaram-se tubos com saídas (orifícios) correspondentes a cada sulco. Devido às perdas de carga ao longo da tubulação e especialmente a variação nos coeficientes de descarga dos orifícios, tornou-se impossível aplicar-se volumes d'água equalizados nos sulcos. Por outro lado, embora o terreno seja sistematizado, durante sua acomodação, sempre ocorrerá depressões e saliências no mesmo, e isto implicará em mais tempo para a água se infiltrar nas depressões e menos nas saliências.

A partir destas considerações propõe-se que a quantificação da precipitação ou da irrigação seja pontual como acontece com os demais componentes do balanço, obedecendo o seguinte procedimento.

Considerou-se um volume de solo de profundidade $z = 30$ e 60 cm, para as determinações dos componentes do balanço hídrico, das duas culturas.

O termo lâmina armazenada máxima (L_M) é por definição a variação do armazenamento da água do solo na profundidade z obtida pela diferença entre o armazenamento máximo ocorrido após irrigação ou precipitação e o armazenamento antes da irrigação subsequente, e indicada pelo sensor de umidade (tensiômetros) no horário de leitura pré-estabelecido (8:00 AM, diariamente). Assim,

$$L_M z = (\theta_D - \theta_A)_z \cdot z \quad (3)$$

θ_D = Umidade máxima média após irrigação na profundidade z, $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$.

θ_A = Umidade média antes da irrigação subsequente na profundidade z, $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$.

z = Profundidade de solo considerada, mm.

L_{Mz} = Lâmina armazenada máxima, após irrigação na profundidade z, mm.

Do exposto apresenta-se a equação do balanço hídrico que se prestará para análise deste trabalho:

$$L_M \pm Qz \pm ETR = \pm \Delta A$$

Percolação ou Ascensão Capilar - O fluxo ascendente ou descendente da água do solo pode ser quantificado para uma determinada profundidade z através da Equação de DARCY, adaptada por BUCHINCHAN² para condições de fluxo não saturado.

ver original fórmula 4

onde $K(\theta)$ = Condutividade hidráulica do solo em função de θ na profundidade z. $\{L T^{-1}\}$

= Gradientes de potencial total da água do solo na z profundidade z. $\{L^0 T^0\}$

Os valores de $K(\theta)$ podem ser obtidos a partir das equações desenvolvidas por SAUNDERS & BEZERRA¹³ em trabalho realizado no próprio solo onde se desenvolveu esta pesquisa, assim:

$$K(\theta)_{30} = \exp 13,046 (2,837 \theta - 1) \quad (5)$$

$$K(\theta)_{60} = \exp 15,427 (2,654 \theta - 1) \quad (6)$$

onde $K(\theta)_{30}$ e $K(\theta)_{60}$ = Condutividade hidráulica em função da umidade média nas

profundidades de 30 e 60 cm, respectivamente.

O gradiente de potencial total expresso na equação (4) pode ser obtido por aproximação através de variáveis finitas pela expressão abaixo:

ver original fórmula 7

onde L = Potencial total da água do solo (L), na profundidade L. $\{L\}$.

$\Psi_{L+\Delta z}$ = Potencial total da água do solo na profundidade L + Δz $\{L\}$

Δz = Coordenada vertical de posição $\{L\}$.

Varição do Armazenamento - A variação do armazenamento da água do solo num intervalo de tempo considerado do balanço, para as profundidades estudadas era obtida pela expressão:

$$\Delta A = (\theta_0 - \theta_1) z \quad (8)$$

onde θ_0 = Umidade média do perfil na profundidade z, no tempo t_0 (antes da aplicação d'água), cm^3/cm^3 .

θ_1 = Umidade média do perfil na profundidade z, no tempo t_1 (antes da aplicação d'água subsequente), $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$

ΔA = Variação do armazenamento na profundidade z, no intervalo $t_1 - t_0$, $\{L\}$.

Evapotranspiração - O componente evapotranspiração é incógnita da equação do balanço hídrico e, de acordo com o que ficou definido para os demais componentes, se conceitua como evapotranspiração real. Explicitando a equação do balanço, tem-se:

$$ETR = L_M \pm Qz \pm \Delta A \quad (9)$$

A pesquisa foi desenvolvida com as culturas do milho (*Zea mays* L.) e o algodão

(*Gossypium hirsutum* L.), sendo que a área relativa à parcela experimental de cada cultura correspondeu a 100 m² com dimensões de 10m x 10m, suficientes para evitar que os processos da dinâmica da água do solo que ocorrem na parte central da parcela não seja influenciada pelos seus limites.

As parcelas dos experimentos foram sistematizadas a nível, aradas, gradeadas, sulcadas e endicadas. Na cultura do milho, variedade Dentado Composto, o espaçamento foi de 0,90 x 0,20m e na do algodão variedade IAC-17, o espaçamento foi de 0,90 x 0,30m.

O sistema de condução de água para as parcelas dos experimentos consistia de uma motobomba que recalrava água de um canal secundário para as parcelas. Ao longo da tubulação de adução acoplou-se um hidrômetro previamente calibrado, com o intuito de medir-se com precisão a quantidade de água aplicada durante as irrigações. A aplicação de água nas parcelas acontecia através de saídas (orifícios) existentes na última seção de tubulação, onde se garantia uma saída para cada sulco.

O manejo da irrigação para as culturas do milho e do algodão previa o reinício da irrigação sempre que o potencial matricial da água do solo mínimo atingisse valores da ordem de - 0,50 atm, na profundidade de 15cm, de acordo com recomendações de DOREMBUS & PRUITT⁴.

Na parte central de cada parcela instalaram-se duas baterias de tensiômetros com manômetros de mercúrio às profundidades de 15, 45, 75, 105 e 135cm. Diariamente, às 8:00, realizava-se leituras das colunas de mercúrio como o objetivo de definir-se quando e quanto irrigar, bem como determinar a energia da água do solo e, indiretamente, o conteúdo de água.

Para a obtenção do conteúdo de água do solo (θ) a partir dos valores do potencial matricial (ψ_m) fornecido pelas leituras dos manômetros de mercúrio inserido nos tensiômetros utilizaram-se amostras de solo indeformadas. A Tabela 1 apresenta os valores de θ em função de ψ_m para as camadas de 30 e 60cm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O balanço hídrico idealizado para as culturas milho e algodão apresentado nas Tabelas 2, 3, 4 e 5 se refere ao período compreendido de outubro/81 a fevereiro/82. Com a cultura do milho, trabalhou-se durante 108 dias em 12 intervalos distintos variando de 02 a 18 dias. Já com o algodão o balanço aconteceu em 115 dias com 17 intervalos variando de 03 a 14 dias. A variação nos intervalos do balanço aconteceu em função do manejo específico de cada cultura e também devido a fatores não controláveis (precipitação e defeito no sistema de adução).

As profundidades do elemento de volume de solo para ambas as culturas foram de 0-30 e 0-60cm, face ao controle rigoroso em aplicação de água para satisfazer a depleção acontecida na camada de 0-60cm (profundidade efetiva das raízes). Deve-se ressaltar que o potencial total da água do solo praticamente permaneceu constante nas profundidades de 75, 105 e 135cm durante o acompanhamento do trabalho.

As determinações dos componentes do balanço hídrico foram obtidas a partir de leituras diárias nos tensiômetros com manômetros de mercúrio. As irrigações se processavam imediatamente após a leitura e isto definiu uma situação singular: o processo de redistribuição da água no perfil do solo nas 24 horas após a irrigação no foi avaliada em toda sua plenitude. Daí o fluxo d'água descendente da primeira camada 0-30cm, apresentado nas Tabelas 2 e 3 não ser contemplado durante e logo após a aplicação de água nas parcelas. Diante deste fato e da justificativa apresentada na introdução optou-se pela lâmina armazenada máxima em detrimento da irrigação ou precipitação. Este procedimento vem justificar a preocupação de SANTOS¹² e SÁ¹¹ que, estudando a dinâmica da água nas culturas do melão e da abóbora, respectivamente, eliminaram os componentes precipitação e irrigação e trabalharam com o componente variação do armazenamento obtido após uma irrigação e anteriormente à subsequente.

Nas Figuras 1 e 2 observa-se que a

TABELA 1 - Valores de Umidade ($\text{cm}^3.\text{cm}^3$) para Diferentes Tensões nas Profundidades de 15 e 45cm do Solo Aluvião Eutrófico. Valores Médios de Três Repetições.

Potencial Matricial ($\text{cm H}_2\text{O}$)	Profundidade (cm)	
	0 - 30 (15) (cm)	30 - 60 (45) (cm)
-1	0,378	0,340
-20	0,369	0,333
-40	0,356	0,296
-60	0,341	0,256
-80	0,323	0,218
-100	0,299	0,195
-200	0,241	0,153
-333	0,210	0,135
-500	0,168	0,120
-800	0,134	0,108
-1.000	0,123	0,103
-2.000	0,098	0,093
-5.000	0,080	0,082
-10.000	0,070	0,072
-15.000	0,060	0,048

TABELA 2 - Balanço Hídrico da Cultura do Milho na Profundidade de 0 - 30cm, em mm

Períodos	Dias	L_M	Qz	ΔA	ETR	ETR/Dias
31/10 - 03/12	4	0,0	1,3	9,6	10,90	2,73
03 - 05/12	2	18,9	0,7	-14,4	5,20	2,60
05 - 11/12	6	8,1	1,4	14,1	23,60	3,93
11 - 22/12	11	36,0	-0,3	21,9	57,60	5,24
22/11 - 03/12	11	53,1	1,3	0,3	54,70	4,97
03 - 13/12	10	57,9	-1,35	6,0	62,55	6,26
13 - 20/12	7	58,5	0,1	-19,8	38,80	5,54
20/12 - 02/01	13	47,1	-4,0	18,9	62,00	4,77
02 - 13/01	11	59,7	-0,65	-3,6	55,45	5,04
13 - 27/01	14	59,4	-0,20	-3,0	56,40	4,02
27/01 - 14/02	18	37,8	0,65	10,5	48,95	2,72
14 - 16/02	2	3,9	0,2	-1,6	2,50	1,25

L_M = Lâmina armazenada máxima

Qz = Percolação (-Qz) ou ascensão capilar (+Qz)

ΔA = Variação de armazenamento

ETR = Evapotranspiração real

TABELA 3 - Balanço Hídrico da Cultura do Algodão na Profundidade de 0-30cm, em mm.

Períodos	Dias	L_M	Qz	ΔA	ETR	ETR/Dias
31/10 - 03/11	3	-	0,75	5,40	6,15	2,05
03 - 11/11	8	24	0,85	0,90	25,75	3,22
11 - 19/11	8	24,6	-0,65	6,60	30,55	3,82
19 - 23/11	4	31,8	-1,60	-20,40	9,80	2,45
23/11 - 02/12	9	18,9	-4,05	13,50	28,35	3,15
02 - 16/12	14	31,5	-0,75	19,20	49,95	3,57
16 - 20/12	4	24,3	0,10	10,60	13,80	3,45
20/12 - 02/01	13	38,7	-7,25	21,30	52,75	4,06
02 - 12/01	10	51,9	-0,50	2,70	54,10	5,41
12 - 18/01	6	29,1	0,00	7,20	36,30	6,05
18 - 26/01	8	58,2	-1,25	-32,70	24,25	3,03
26 - 30/01	4	-	-	-	-	-
30/01 - 09/02	10	-	-0,10	50,1	50,00	5,00
11/02 - 18/02	7	-	-2,15	33,0	30,85	4,40

L_M = Lâmina armazenada máxima

Qz = Percolação (-Qz) ou ascensão capilar (+Qz)

ΔA = Variação de armazenamento

ETR = Evapotranspiração real

TABELA 4 - Balanço Hídrico da Cultura do Milho na Profundidade de 0-60cm, em mm.

Períodos	Dias	L_M	Qz	ΔA	ETR	ETR/Dias
31/10 - 03/11	3	0,0	-1,3	9,9	8,6	2,87
03 - 05/11	2	35,0	-2,2	-27,3	6,5	3,25
05 - 11/11	6	6,0	-3,0	30,3	33,3	5,55
11 - 22/11	11	49,5	-4,0	27,9	73,4	6,67
22/11 - 03/12	11	80,1	-7,1	0,30	73,3	6,66
03 - 13/12	16	87,9	-7,1	7,20	88,0	8,80
13 - 20/12	7	85,2	-4,7	-25,5	55,0	7,86
20/12 - 02/01	13	44,7	-3,0	26,4	68,1	5,24
02 - 13/01	11	84,9	-5,3	-4,20	75,1	6,83
13 - 27/01	14	88,8	-4,7	0,90	85,0	6,07
27/01 - 14/02	18	36,6	0,0	17,7	54,3	3,02
14 - 16/02	2	1,8	0,0	0,60	2,4	1,20

L_M = Lâmina armazenada máxima após irrigação

Qz = Percolação (-Qz) ou ascensão capilar (+Qz)

ΔA = Variação de armazenamento

ETR = Evapotranspiração real

TABELA 5 - Balanço Hídrico da Cultura do Algodão na Profundidade de 0-60cm, em mm.

Períodos	Dias	L_M	Qz	ΔA	ETR	ETR/Dias
31/10 - 03/11	3	-	-0,75	10,80	10,05	3,35
03 - 11/11	8	40,8	-9,15	-1,50	30,15	3,77
11 - 19/11	8	27,3	-1,80	11,30	36,80	4,60
19 - 23/11	4	46,1	-1,90	-25,50	18,70	4,68
24/11 - 02/12	8	21,0	-3,90	15,60	32,70	4,09
02 - 16/12	14	35,7	-4,15	24,30	55,85	3,99
16 - 20/12	4	34,4	0,00	-18,30	16,08	4,02
20/12 - 02/01	13	38,7	-5,70	19,80	52,80	4,06
02 - 12/01	10	52,2	-1,80	9,90	60,30	6,03
12 - 18/01	6	25,5	0,00	19,50	45,00	7,50
18 - 26/01	8	94,2	-4,05	-42,30	47,85	5,98
26 - 30/01	-	-	-	-	-	-
30/01 - 09/02	10	-	0,00	61,80	61,80	6,18
09 - 11/02	2	-	-	-	-	-
11 - 18/02	7	-	0,00	31,50	31,50	4,50
18 - 20/02	2	-	-	-	-	-
20 - 24/02	4	-	0,00	10,50	10,50	2,63

L_M = Lâmina armazenada máxima após irrigação

Qz = Percolação (-Qz) ou ascensão capilar (+Qz)

ΔA = Variação de armazenamento

ETR = Evapotranspiração real

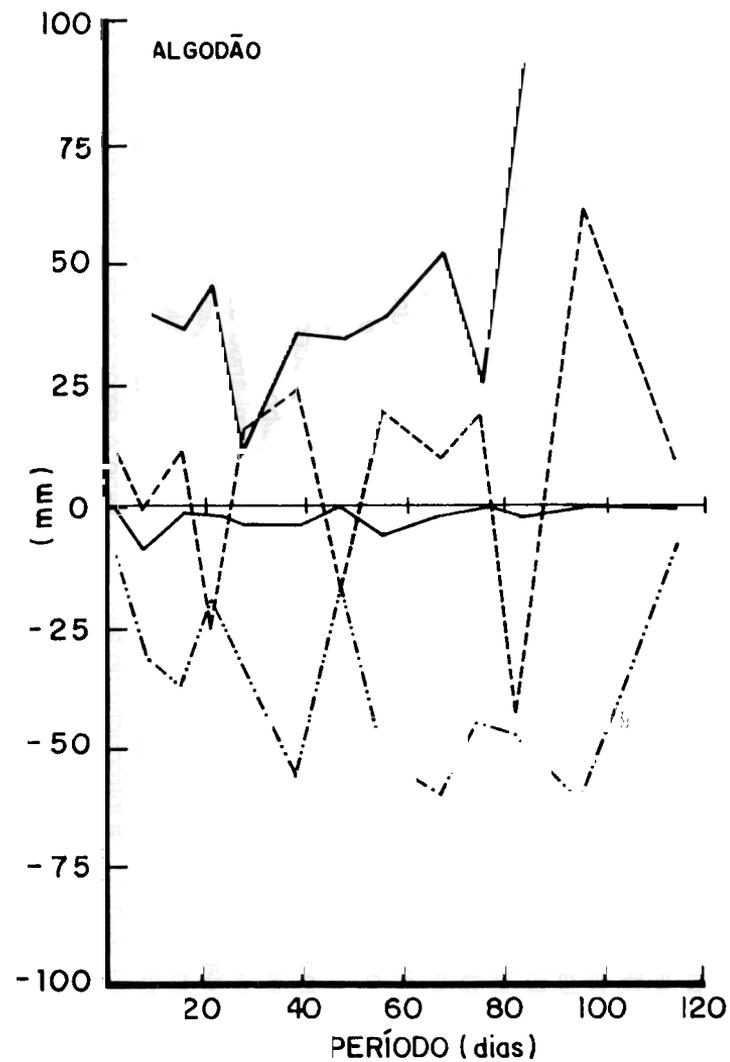
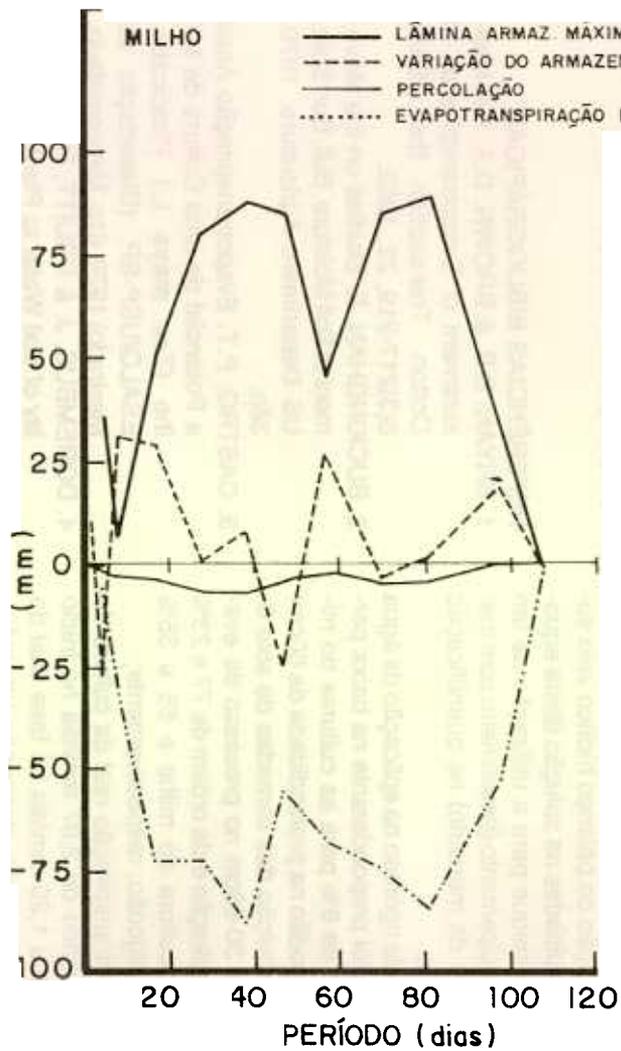
variação do armazenamento na profundidade de 0-60cm, ao longo dos períodos estudados apresentou uma amplitude muito considerável, +30,3 a - 27,3mm para a cultura do milho e +24,3 a -42,3mm para a cultura do algodão. Considerando a magnitude irrelevante da percolação nos dois experimentos, quando comparada com os demais componentes do balanço, constata-se que a amplitude na variação do armazenamento decorre também do consumo d'água diferenciado nas duas camadas de solo estudadas e da dificuldade de se realizar um manejo adequado pré-estabelecido para as duas culturas. (Reinício da irrigação quando o mínimo a 15cm de profundidade atingir - 500cm H_2O).

Na profundidade de 0-60cm a contribuição da percolação no balanço hídrico do milho foi de 43,4mm e do algodão 33,2mm. Tomando-se como base na estimativa da percentagem de percolação o somatório evapotranspiração real mais per-

colação igual a 100%, constata-se que a contribuição deste parâmetro foi da ordem de 6% para as duas culturas. Este resultado evidencia um controle rigoroso na aplicação da água no solo, destacando sobremaneira o manejo adequado na condução dos experimentos.

A contribuição das camadas de solo de 0-30cm e 30-60cm no processo de evapotranspiração é da ordem de 77 e 23% para a cultura do milho e 65 e 35% para o algodão, respectivamente. Da maior intensidade de evapotranspiração na camada mais superficial pode-se inferir a maior densidade de raízes aí existente.

Os resultados da evapotranspiração real das culturas milho e algodão mostrados nas Tabelas 4 e 5 estão compatíveis com os dados apresentados no Boletim N° 24 FAO REVISADO EM 1977. A cultura do milho apresentou uma taxa média de evapotranspiração real de 5,65 mm/dia variando de 2,87 mm/dia no início do ciclo a 1,20 mm/dia



FIGURAS 1 e 2
Componentes do Balanço Hídrico da Cultura do Milho e do Algodão

no final da maturação, tendo alcançado um máximo de 8,00 mm/dia na fase de floração e início da frutificação (período crítico). A evapotranspiração real média obtida quando comparada com os dados de VAN BAVEL & HARRIS¹⁵ que encontraram valores da ordem de 5,65 mm/dia em 1957 e 4,45 mm/dia 1958, DOSS et alii⁵ 5,8 mm/dia, e SAUNDERS et alii¹⁴ 5,78 mm/dia, mostra a validade dos dados analisados no presente trabalho. O algodão apresentou valor de evapotranspiração real média diária de 4,77 mm, atingindo no início e no final do ciclo 3,35 e 2,63 cm, respectivamente, alcançando no período crítico 7,50 mm. O valor médio de evapotranspiração real obtido está bastante coerente com os resultados apresentados por MARINATO & KARIDA⁸ de 5,86 e 3,60 mm/dia, em dois anos consecutivos e por BRYAN & BROWN¹ quando obtiveram 5,84 mm/dia, o que vem comprovar a validade da introdução do termo lâmina armazenada máxima.

CONCLUSÕES

- 1 - O emprego da lâmina armazenada máxima em substituição ao tradicionalmente usado (irrigação e/ou precipitação) na equação do balanço hídrico veio suprir dificuldades na solução desta equação. Destaque para a utilização de um único equipamento (tensiômetro com manômetro de mercúrio) na quantificação da água;
- 2 - O controle rigoroso na aplicação da água ao solo foi preponderante na baixa percolação de 6% para as culturas do milho e algodão na profundidade de 60cm;
- 3 - A contribuição das camadas de solo 0-30cm e 30-60cm no processo de evapotranspiração é da ordem de 77 e 23% para a cultura do milho e 65 e 35% para o algodão, respectivamente;
- 4 - A evapotranspiração real da cultura do milho variou de 2,87 mm/dia no início do ciclo a 1,20 mm/dia na fase final de maturação, tendo alcançado um máximo na fase de floração e início da frutificação de 8,00 mm/dia. A taxa média no ciclo estudado (108 dias) foi de 5,65 mm/dia; e

- 5 - A cultura do algodão apresentou valor de evapotranspiração real no início do ciclo de 3,35 mm/dia e na fase final de maturação de 2,63 mm/dia, enquanto na floração e início da frutificação, atingiu o valor máximo de 7,50 mm/dia. A taxa média de ETR em todo o ciclo considerado (115 dias) foi de 4,77 mm/dia.

RECOMENDAÇÕES

- Dada a necessidade de um manejo d'água adequado das culturas irrigadas, recomenda-se a utilização desta metodologia com o procedimento apresentado neste trabalho, objetivando-se determinar para o semi-árido do Nordeste brasileiro a evapotranspiração real das culturas de expressão econômica irrigada;
- Na quantificação da água faz-se necessário o emprego de outros sensores de umidade (Sonda de Nêutrons, especialmente) além dos tensiômetros; e
- Com o intuito de atender a variabilidade espacial das características físico-hídricas do solo, sugere-se que a determinação da condutividade hidráulica aconteça na própria parcela do experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRYAN, B.B. & BROWN, D.A. Field Measurement of Evapotranspiration of Cotton. Transaction the ASAE. 6(3)217-219, 22, 1963.
2. BUCKINGHAM, E. Studies on the Movement of Soil Moisture. Bull. Bur. Soils. US Department Agriculture. 1970, 38p.
3. CASTRO, P.T. Evapotranspiração Atual e Potencial de uma Cultura de Milho (*Zea mays* L.) Piracicaba. ESALQ/USP-SP. (Dissertação de Mestrado) 1979, 61p. Mimeografado.
4. DOREMBUS, J. & PRUITT, R.H. Availability of Soil Water to Plants as Affected by Soil Moisture Content and Meteorological Conditions. Agron. J., 54:385-390, 1962
5. DOSS, B.D.; BENNET, O.L. & ASHLEY, D.A. Evapotranspiration by Irriga-

- tion Corn. Agron. J. 54:497-498, 1962.
6. FERREIRA, M.N.L. Determinação da Evapotranspiração Atual e Potencial da Cultura de Melancia (*Citrulus la-matus*). Fortaleza-CE. UFC. (Dissertação de Mestrado) 1990, 61p. Mimeografado.
 7. MARCA, O. R. Determinação da Evapotranspiração do Consórcio Feijão-Milho-Algodão pelo Método do Balanço Hídrico e através de Fórmulas Empíricas sob Regime de Irrigação por Sulcos. Fortaleza, CE. UFC. (Dissertação de Mestrado) 1985. 83p. Mimeografado.
 8. MARINATO, R. KAKIDA, J. Estudo do Período Crítico para Irrigação do Algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) no norte de Minas. In: Reunião Nacional do Algodão, 2o., Salvador-Bahia, 1982, 125p.
 9. REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. & SAUNDERS, L.C.U. Dinâmica da Água em Solo Cultivado com Milho. Rev. Bras. de Ciên. do Solo. 3:1-5, 1979.
 10. ROSE, C.W. & STERN, W.R. Determination of Witk-dramal of Soil by Crop Roots as Function of Depth and Time. Aus. J. Soil. Rev. 5:11-19, 1967.
 11. VAN BAVEL, C.H.M. & HARRIS. Evapotranspiration Rates from Bermudagrass and Corn at Raleigh, North Carolina. Agron. J., 54:319-322, 1962.
 11. SÁ, V.A. de L. Dinâmica da Água na Cultura da abóbora (*Curcubita máxima* Duch) Cultivada em um Solo Aluvião Eutrófico no Vale do Curu-CE. (Dissertação de Mestrado) 1988, 68p. Mimeografado.
 12. SANTOS, G.A.S. Uso consuntivo da Cultura do Melão. Fortaleza-CE, UFC. (Dissertação de Mestrado) 1985. 71p. Mimeografado.
 13. SAUNDERS, L.C.U. & BEZERRA, F.M.L. Relatórios do Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para o Nordeste - PDCT/NE-01, fev/dez. 1984.
 14. SAUNDERS, L.C.U.; CASTRO, P.T. de; MATIAS FILHO, J. & BEZERRA, F.M.L. Uso consuntivo da Cultura do Milho sob Condições Naturais de Precipitações na Microrregião Homogênea de Quixeramobim. Apresentado no XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Fortaleza. 1984.